



## Model til behandling af usikkerheder i økonomiske vurderinger af energiteknologier

Nielsen, Lars Henrik

*Publication date:*  
1983

*Document Version*  
Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link back to DTU Orbit](#)

*Citation (APA):*  
Nielsen, L. H. (1983). *Model til behandling af usikkerheder i økonomiske vurderinger af energiteknologier*. Danmarks Tekniske Universitet, Risø Nationallaboratoriet for Bæredygtig Energi. Risø-M No. 2390

---

### General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

RISØ-M-2390

MODEL TIL BEHANDLING AF USIKKERHEDER I ØKONOMISKE  
VURDERINGER AF ENERGITEKNOLOGIER

Lars Henrik Nielsen  
Energisystemgruppen

Abstract. I rapporten beskrives en model, som inddrager usikkerheder i økonomiske vurderinger af energiteknologier. De fleste data til modellen kan angives med sandsynlighedsfordeling, og modellen beregner den resulterende sandsynlighedsfordeling for et valgt økonomisk måltal. Denne information suppleres af en følsomhedsanalyse som beskriver indflydelsen fra de enkelte datafordelinger på den samlede økonomiske usikkerhed. Data til modellen og beregningsresultater præsenteres grafisk. Den nuværende version af modellen beregner nuværdien af de samlede udgifter forbundet med brugen af en energiteknologi gennem en given periode. Det er hensigten at udvide modellen til også at beregne en effektiv energipris, nuværdi for differensprojekter og intern rente.

EDB descriptors: CAPITALIZED COST; COMPUTER CALCULATIONS; DATA COVARIANCES; DISTRIBUTION; ECONOMIC ANALYSIS; ENERGY ANALYSIS; ENERGY SYSTEMS; FUEL CONSUMPTION; HEATING SYSTEMS! INVESTMENT; MATHEMATICAL MODELS; PARAMETRIC ANALYSIS; PRESENT WORTH METHOD; PROBABILITY; SENSITIVITY ANALYSES.

UDC 620.92: 681.3.06

April 1983

Forsøgssanlæg Risø, 4000 Roskilde, Danmark.

ISBN 87-550-0936-0

ISSN 0418-6435

Risø Repro 1983

## INDHOLD

	Side
1. INDLEDNING .....	5
2. MODELLENS ANVENDELSE .....	7
2.1. Nuværdifordeling .....	7
2.2. Data til modellen .....	10
2.3. Følsomhedsanalyse .....	14
2.4. Sammenligning af varmeanlæg .....	15
2.5. Generel bemærkning .....	17
3. BEREKNINGSMETODE .....	17
3.1. Valg af beregningsmetode .....	19
3.2. Følsomhedsanalyse .....	29
4. NUVÆRDI AF N ÅRS VARMEUDGIFTER .....	31
4.1. Brændselsuafhængige betalingsrækker .....	32
4.2. Brændselsudgifter .....	39
5. OVERSIGT OVER PROGRAMMODULER .....	45
REFERENCER .....	48



## 1. INDLEDNING

Den hastige udvikling på energiområdet, kendetegnet ved fremkomsten af nye teknologier og videreudvikling af allerede kendte energiteknologier, har øget behovet for løbende tekniske og økonomiske vurderinger hos beslutningstagere både i den private og offentlige sektor.

Stigende priser på råolie og øvrige primærbrændsler gennem de seneste 10 år har accelereret denne udvikling. Den voksende budgetandel energiregningen udgør har nødvendiggjort søgen efter mere rationel energiudnyttelse og øget behovet for at vurdere forholdet mellem kapitaludgifter og de løbende brændselsudgifter for mulige energiforsyningssystemer. Står man over for en beslutning om eventuelt at ændre energiforsyningssystem, kan der være mange løsningsforslag at skulle vælge blandt. Datagrundlaget for en sådan beslutning vil ofte være behæftet med en del usikkerhed, hvorfor nødvendigheden af at kunne udpege de væsentligste parametre i den økonomiske vurdering og behovet for at kunne overskue den samlede usikkerhed træder særligt frem.

På denne baggrund startedes i august 1981 et projekt på Forsøgsanlæg Risø i Energisystemgruppen (ESG) med det formål at udvikle en generel beregningsmetode og opbygge en EDB-model til beregning af økonomien for forskellige energiteknologier, der gør det muligt at integrere usikkerheder i beregningerne.

Hovedsigtet med projektet har været at udvikle en model, som kan viderebehandle tekniske og økonomiske størrelser på et beskrivelsesniveau, der er generelt for en økonomisk vurdering af energiteknologier som :

Oliefyr

Gasfyr

Direkte elvarme

Varmepumper

Mindre vindmøller

Halmfyr

Brændeovne

Biogasanlæg  
Solvarmeanlæg m.v.

Større samlede problemstillinger i forbindelse med f.eks.

Fjernvarmeværker  
Kraftvarmeværker  
Kraftværker  
Naturgasprojekter

kan formentlig også med fordel behandles med modellen.

Et krav til modellen var, at det skulle være muligt at vurdere usikkerheder knyttet til forudsætninger i den økonomiske vurdering. Modellen skulle kunne beregne den samlede virkning af mange samspillede usikkerheder, og kunne anskueliggøre i hvilken grad usikkerheden på den enkelte parameter bidrager til den samlede usikkerhed.

Det har ikke været tanken her at kunne simulere den tekniske drift af disse anlæg eller at kunne foretage optimeringer. Den udviklede model er tænkt som en mulig overbygning på sådanne beregninger, og som et redskab til viderebehandling af målinger på og/eller vurderinger af energianlæg. Modellen sammenstiller de tekniske nøgletal, der direkte berører økonomien, med tilhørende anlægs- og driftsudgifter m.v. og beregner et udvalg af økonomiske måltal. Den samlede usikkerhed på et sådant økonomisk måltal beregnes af modellen og hertil knyttes en traditionel parameterfølsomhedsanalyse, som anskueliggør de enkelte parameters indflydelse på dette måltal og den samlede usikkerhed.

Den nuværende version af modellen tillader beregning af:

- 1) Nuværdien af udgifter til opvarmning over et givet antal år med et givet anlæg.

Modellen tænkes fremover udbygget til desuden at rumme følgende ofte anvendte økonomiske beregningsmetoder:

- 2) En effektiv kWh-pris for varme leveret af anlæget.
- 3) Nuværdi for differensprojekter.

- 4) Intern rente.
- 5) Simpel "Pay-back".

Det vil selvsagt være underordnet for anvendeligheden af disse beregningsturkturer, om den økonomiske vurdering anlægges på privatøkonomiske eller samfundsøkonomiske datagrundlag. Data relevante for vurderingen af energiteknologiens direkte betalingsbalance - og beskæftigelsesvirkninger vil også naturligt kunne viderebehandles i modellen.

Beregningsforudsætninger for den økonomiske vurdering og beregningsresultater fra modellen præsenteres på grafisk form. De mest væsentlige forudsætninger og resultater vises på et enkelt A4-ark for at muliggøre et hurtigt samlet overblik. Samme grafiske format kan anvendes ved vurderinger af forskellige energiteknologier og anvendelsessituationer, hvilket forventes at øge overskueligheden ved sammenligninger af flere energiteknologier under konsistente forudsætninger.

## 2. MODELLENS ANVENDELSE

Modellens anvendelse vil i det følgende blive gennemgået med udgangspunkt i regneeksemplet vist på figur 1).

### 2.1. Nuværdifordeling

Figur 1) viser et hovedbeskrivelsesark for en nuværdiberegning på et varmepumpeanlæg, som er tænkt opsat i en nyere bolig med et årligt nettovarmebehov incl. varmt brugsvand på 60 GJ.

Den centrale figur på beskrivelsesarket er figur 1(g), som er placeret øverst mod højre. Abscisseaksen angiver her nuværdien af varmeudgifter over en 20-årig periode. Den forventede sandsynlighed for at træffe denne nuværdi i et givet interval, kan



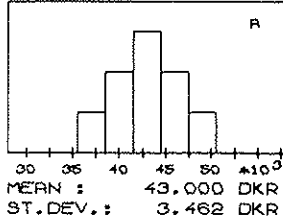
aflæses som det arealudsnit af den linierede figur, der hviler over intervallet. De lodrette linier opdeler arealet af figuren i 10 lige store områder. Der er altså en sandsynlighed på 10% for, at nuværdien vil forekomme i intervallet mellem to sådanne nabolinier. Det kan f.eks. aflæses på figuren, at nuværdien af varmeudgifterne over den 20-årige periode fra år 1980 til og med år 2000, forventes at ligge i intervallet 120.000 - 142.000 kr. (realværdi 1980) i ca. 80% af tilfældene.

De gunstigste 10% af anlægene forventes at have nuværdier under 120.000 kr., og den dårlige tiendedel af anlægene forventes at have nuværdier over 142.000 kr.

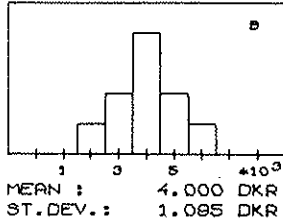
Figur 1) fortæller også, at nuværdien i ekstreme tilfælde kunne komme op på 160.000 kr. eller under 110.000 kr., og videre at den gunstige halvdel af installationerne vil have en accumuleret varmeregning under ca. 130.000 kr. Disse tal siger måske i sig selv ikke ret meget, men betydningen træder frem når flere anlæg sammenlignes på konsistente grundforudsætninger.

# HEAT PUMP AIR / WATER BACKUP : RESISTANCE HEAT

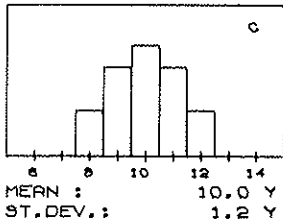
HEAT PUMP UNIT :



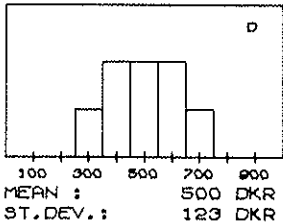
RENEW COMPRESSOR :



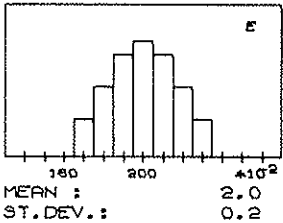
LIFETIME OF COMP. :



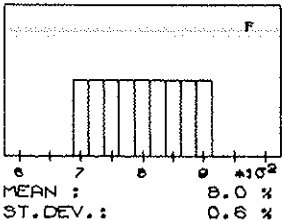
ANNUAL MAINTENANCE :



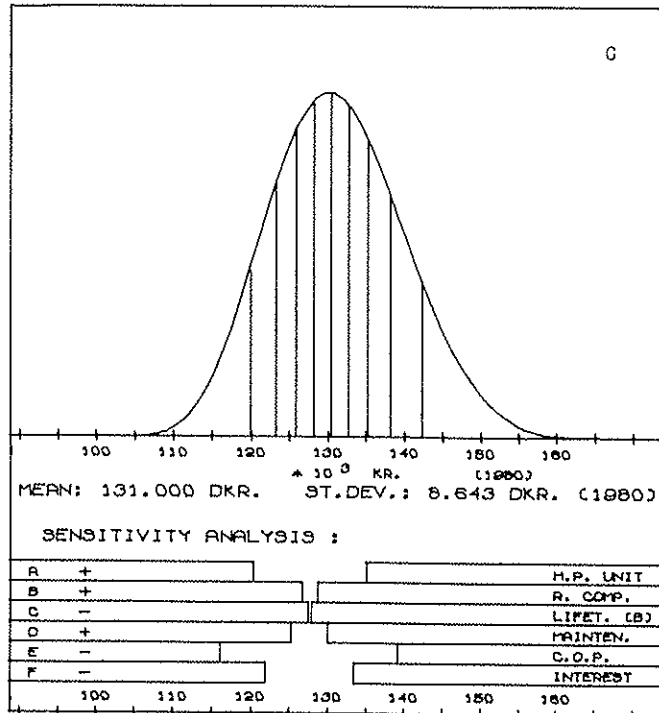
C.O.P. :



INTEREST RATE :



PRESENT VALUE OF 20 Y. HEATING COSTS :



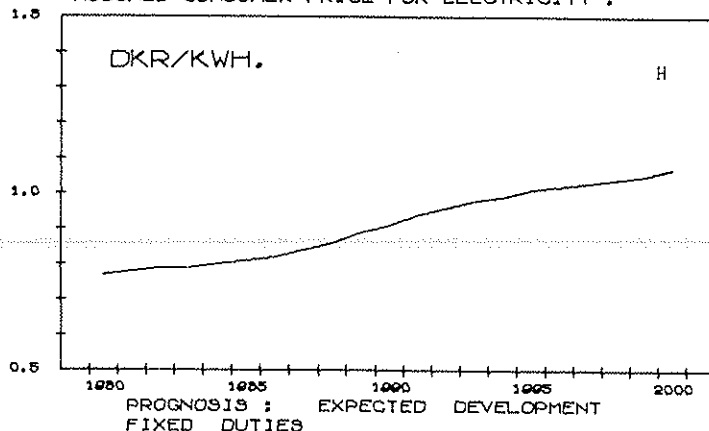
HEATING SYSTEM: Electric air/water heat pump, with resistance heat as backup.

Figure (G) shows the present value (1980) of total heating costs, over the period 1980-2000, for a single family house with the net annual heat demand (= heat loss of building and domestic hot water) of 60 GJ. Vertical lines divide this distribution into intervals each covering 10% of probability.

Sensitivity analysis: The gap in the horizontal bars indicates the influence on the present value originating from the respective parameter. The narrower the gap, the less the influence.

Figures (A, . . . , F, H) show the basis of calculation. Cost of heat pump unit incl. installation (1980) is shown in figure (A). The lifetime of this investment is chosen as 15 years. The assumed distribution for C.O.P. includes auxiliary resistance heat.

ASSUMED CONSUMER PRICE FOR ELECTRICITY :



Figur 1.

## 2.2. Data til modellen

De væsentligste forudsætninger for beregningen af sandsynlighedsfordelingen for nuværdien er vist på beskrivelsesarkets øvrige figurer. Det skal understreges at disse forudsætninger er valgt som et regneeksempel, der ikke bør opfattes som dækkende for luft/vand varmepumpernes situation.

### Kapitaludgifter

Histogrammet figur 1(A) rummer antagelser om grundinvesteringens størrelse og usikkerhed. I eksemplet er de samlede udgifter til varmepumpeanlægget, medregnet installation og tilslutning til et eksisterende varmfordelingssystem, anslået til i middel at andrage 43.000 kr. (1980). Forskelle i installationsomkostninger, prisforskelle blandt forskellige fabrikater af den produktkategori der vurderes, prisvariationer for identiske produkter o.s.v., medfører usikkerhed om grundinvesteringens størrelse. Denne usikkerhed er søgt beskrevet med sandsynlighedsfordelingen vist på figur 1(A).

Sandsynlighedsfordelingen er givet som et histogram bestående af 5 søjler. Alle ubestemte størrelser som brugeren vil beskrive med en sandsynlighedsfordeling skal udformes som histogrammer, og brugeren må være opmærksom på, at en histogramsøjle i modellen repræsenteres ved søjlens middelværdi, og at denne midterste værdi i søjlen tilskrives hele søjlens sandsynlighed. Dette forhold indskrænker dog ikke brugerens frihed i datavalget, idet histogrammernes form og søjleantal kan være vilkårligt. Brugeren kan frit vælge den detaljeringsgrad i sandsynlighedsfordelinger, som skønnes nødvendig for at rumme den ønskede information.

Investeringen beskrevet på figur 1(A) er foretaget år 1980, og levetiden er anslået til 15 år. En helt tilsvarende investering er foretaget efter disse 15 år, og restværdien af denne reinvestering år 2000 er modregnet i den beregnede nuværdifordeling.

Figurerne 1(B,C) beskriver en forventet nødvendig følgeinvestering i en ny/renoveret kompressor til varmepumpen. I dette eksempel er der vurderet, at denne udgiftspost vil kunne varie-

re kraftigt i pris, fra 2000 kr. op til 6000 kr (1980), med en middelværdi på 4000 kr. og en spredning i fordelingen på godt 1000 kr. Den store spredning i størrelsen er valgt bl.a. for at udtrykke en manglende viden om denne udgift.

Levetiden for denne følgeinvestering er vist på figur 1(C). Det fremgår, at den gennemsnitlige levetid er sat til 10 år, og at spredningen i fordelingen er 1,2 år. Investerings tidspunktet for den renoverede kompressor tænkes at indtræffe når anlæget har været i drift i gennemsnitlig 10 år, og er ligeledes fastlagt som vist på figur 1(C).

Årlige pasnings- og vedligeholdelsesudgifter (serviceabonnement o.l.) antages i eksemplet at være lige store i realværdi år for år. Sandsynlighedsfordelingen for størrelsen af den årlige udgift er vist på figur 1(D).

Figurerne 1(A,B,C) beskriver varmepumpeanlæggets brændselsafhængige betalingsrækker over beregningsperioden. Betalingsrækker kan angives med et vilkårligt forløb, idet modellen ikke sætter grænser for antallet af investeringsposter. Den enkelte investeringspost kan specificeres med investerings tidspunktet, investerings størrelse og investerings levetid, og disse størrelser kan angives med sandsynlighedsfordeling. I situationer, hvor brugeren ønsker at angive éngangsinvesteringer, har levetidsangivelsen kun betydning for restværdiberegningen, men i tilfælde, hvor brugeren ønsker at indlægge en kæde af investeringer i nuværdiberegningen, får levetiden herudover betydning som investerings tidspunktet for næste led i investeringskæden.

Rækker en investerings levetid længere frem i tiden end den valgte beregningsperiode, modregnes investerings værdi ved beregningsperiodens udløbstidspunkt. Brugeren kan her vælge imellem to restværdiberegningsmetoder. Den første metode antager, at investeringen i realværdi afskrives lineært over den ansatte levetid, og den anden metode, som ofte bruges, annuiserer investeringen over levetiden og medtager i nuværdiberegningen kun årlige betalinger, der ligger indenfor beregningsperioden.

### Brændselsudgifter

Figur 1(H), nederst til højre på beskrivelsesarket, viser brugerens antagne prisprognoser over beregningsperioden for de brændselstyper, der forbruges i den omhandlede energiteknologi. Brændselsprisprognoser, med basis i prognoserne anvendt ved EP-81 beregningerne, står til rådighed for brugeren.

I dette eksempel er brændselstypen elektricitet for både varmeanlæggets primærdel (varmepumpeandelen) og sekundærdelen, som er supplerende direkte elvarme.

Den årlige brændselsudgift  $B$ , knyttet til en anlægsdel, beregnes ud fra

- 1) det årlige nettoenergibehov  $E$
- 2) brøkdelen  $\delta$  af  $E$  som anlægsdelen forventes at dække,
- 3) effektiviteten  $\eta$  hvormed anlægsdelen udnytter brændslet, samt
- 4) brændselsprisen  $c$ ,

efter formelen:

$$B_{it} = E \cdot \frac{\delta_i}{\eta_i} \cdot C_{it}$$

Index (i) angiver anlægsdelen, og index (t) angiver, at brændselsudgiften er beregnet for år nummer (t) i beregningsperioden.

Dækningsgraden  $\delta_i$  skal her forstås som den potentielle dækningsgrad fra anlægsdel (i). Nettoenergibehovet  $E$  vælges fast i beregningerne, og brændselsprisen  $C_{it}$  følger et angivet prognoseforløb. Dækningsgraden  $\delta$  og effektiviteten  $\eta$  kan derimod opgives med sandsynlighedsfordeling.

Energiteknologier, som beregningsmæssigt opdeles i flere anlægsdele, angives i en prioriteret rækkefølge. Rækkefølgen fortæller programmet, hvilke af disse delsystemer brugeren fortrinsvis ønsker udnytted, hvorfor det må forventes, at højeste prioritet tildeles anlægsdelen med de laveste brændselsudgifter.

Den højest prioriterede anlægsdel udnytter hele sin potentielle dækningsgrad  $\delta_1$ , og næste anlægsdel udnytter så meget, som behovet tillader o.s.v.

Antallet af sådanne anlægsdele har i modellens nuværende version et arbitrært loft på 5 anlægsdele.

På beskrivelsesarkets figur 1(E) er varmepumpens samlede årlige energifaktor (effektivitet) vist. Da brugeren har ladet varmeanlæggets forbrug af supplerende direkte elvarme indgå i denne størrelse, vil dette varmepumpeanlæg i beregningsmæssig henseende være beskrevet som én anlægsdel. Den tilhørende dækningsgrad er følgelig 1, idet hele boligens nettoenergibehov dækkes med denne anlægsdel.

Middelværdien for den samlede energifaktor i eksemplet er vurderet til  $\overline{C.O.P.} = 2$ , hvilket betyder, at der i middel forventes, at anlæget leverer 2 varmeenergienheder til boligens nettoenergibehov for hver forbrugt energienhed af elektricitet. Forskelle i denne ydelse grundet fabrikatforskelle, forskelle i driftsbetingelser, justering m.v. forventes at give en usikkerhed med et variationsområde på 1.7 - 2.3. Sandsynlighedsfordelingerne over dette område er valgt med en spredning omkring middelværdien på 0.2.

Nuværdiberegningen fører alle betalinger hen til et fælles tidspunkt ved brug af kalkulationsrenten. Dette fælles tidspunkt vælges ofte som starten på anlæggets første anvendelsesår.

Kalkulationsrenten (figur 1(F)) er i eksemplet tillagt en rektangulær fordeling. Valget af denne rektangulære fordeling udtrykker en antagelse om, at realrenten vil kunne variere fra 7-9% p.a., og at vi herudover ingen forventninger har om rentens størrelse.

I modellens nuværende form er det en forudsætning, at alle datafordelinger er stokastisk uafhængige. Med andre ord er det en forudsætning, at det anvendte datagrundlag ikke indeholder relationer parametrene imellem. Brugeren må være opmærksom på dette

forhold under specifikationen af vurderingsobjekt og ved data-valget. Er denne betingelse ikke opfyldt i rimeligt omfang, må datamaterialet opdeles til flere selvstændige vurderinger.

### 2.3. Følsomhedsanalyse

Den samlede virkning på nuværdien af usikkerheder udtrykt i datafordelingerne er indeholdt i sandsynlighedsfordelingen på figur 1(G). Bidraget til den samlede usikkerhed fra usikkerheden på den enkelte parameter er anskueliggjort med følsomhedsanalysen i samme figur.

Åbningen i de vandrette bjælker er udtryk for denne indflydelse. Beregnes nuværdien for fast valg af parameterværdier, valgt som datafordelingernes middelværdier, fås en centralt beregnet nuværdi, som ikke nødvendigvis er sammenfaldende med middelværdien i nuværdifordelingen. Varieres en enkelt parameter  $x$  over intervallet  $[\bar{x} - 2 \cdot \sigma(x) ; \bar{x} + 2 \cdot \sigma(x)]$  hvor  $\bar{x}$  er middelværdien i sandsynlighedsfordelingen for denne parameter, og  $\sigma(x)$  er spredningen i fordelingen, varierer den centralt skønnede nuværdi over intervallet beskrevet ved åbningen i den vandrette bjælke knyttet til parameteren  $x$ . Er der i bjælken angivet et "+", er nuværdien i omegnen af den centrale værdi en voksende funktion af parameteren. Omvendt betyder et "-" at nuværdien er aftagende som funktion af parameteren.

Foruden den direkte følsomhed på parameteren antyder disse brudte bjælker indflydelsen fra parameterens usikkerhed på den samlede usikkerhed i nuværdien. En følsom parameter vil kunne have en smal bjælkeåbning, hvis spredningen i parameterens fordeling til gengæld er lille og altså anses for godt bestemt. Omvendt kan parametre med lille relativ følsomhed, men med stor ubestemthed, udvise relativt brede bjælkeåbninger og stor betydning for den samlede usikkerhed.

Ved at se ned over følsomhedsdiagrammet, identificeres systemets årsenergifaktor som parameteren, hvis usikkerhed bidrager mest til den totale usikkerhed på varmepumpens økonomi. Øges årsener-

gifaktoren fra middelværdien på 2 med den dobbelte spredning til 2.4 (udenfor fordelingen), reduceres den centrale nuværdi af varmeudgifter på ca. 127.000 kr. med godt 11.000 kr.

Udtrykt i relative størrelser, medfører en forøgelse af energifaktoren på 20% en reduktion af den centrale nuværdi af periodens varmeudgifter på ca. 9%, d.v.s.  $\frac{\Delta G}{G} / \frac{\Delta E}{E} \sim -0.45$ .

Den oprindelige anlægsinvestering beskrevet i figur 1(A) leverer næststørste bidrag til usikkerheden. En relativ forøgelse af anlægsinvesteringen på ca. 16%, øger nuværdien med ca. 6%, d.v.s.  $\frac{\Delta G}{G} / \frac{\Delta A}{A} \sim 0.38$ .

Det trediestørste bidrag til den samlede usikkerhed i dette regneeksempel kommer fra kalkulationsrenten. Øges kalkulationsrenten fra 8% p.a. til 9% p.a. reduceres vægten, hermed fremtidige betalinger indgår i nuværdien, hvilket i eksemplet reducerer den centrale nuværdi med ca. 5.000 kr. (1980).

Den relativ store usikkerhed antaget for priser på udskiftning af en kompressor i varmepumpen, ca. 55%, influerer kun ca. 0,8% på den centrale nuværdi, og den antagne sandsynlighedsfordeling for kompressorens udskiftningstidspunkt, vil man finde uvæsentlig i det samlede udgiftsbillede.

I dette eksempel udgør brændselsudgiften ca. 55% af den centrale nuværdi, og de accumulerede kapitaludgifter udgør de resterende 45%. Ændres brændselsprisniveauet over hele beregningsperioden med f.eks. 10%, slår dette igennem på den centrale nuværdi af de samlede varmeudgifter med ca. 5,5% ved denne ansættelse af brændselsprisen.

#### 2.4. Sammenligning af varmeanlæg

Modellen forventes i praksis anvendt til at vurdere flere anlæg samlet under fælles grundforudsætninger, og formålet vil oftest være at rangordne anlægene økonomisk. Middelværdierne i nuværdifordelingerne vil være en sådan rangordning, men denne ordning



udnytter kun en del af informationen om den økonomiske usikkerhed. Brugeren vil kunne stå i vurderingssituationer, hvor et anlæg, med en gunstig middelværdi på det økonomiske måltal men tillige med en stor økonomisk usikkerhed, skal vægtes mod et andet anlæg med en mindre fordelagtig middelværdi, men hvor anlæget til gengæld har en mindre forventet økonomisk usikkerhed.

En naturlig måde at inddrage usikkerhederne på er ved at sortere anlægstyperne efter en given fraktile. Vælger man f.eks. at rangordne efter en fraktile på 80%, betyder dette, at anlægstypen tilknyttes den nuværdi i sandsynlighedsfordelingen, som adskiller de billigste 80% af anlægene fra de dyreste 20%. På figur 1(G) aflæses denne fraktile til at være ca. 138.000 kr. (1980). Sammenlignes disse tal for de forskellige anlægstyper, vil anlæg med stor spredning i fordelingen placere sig ufordelagtigt i forhold til en sortering efter middelværdi. Man kan sige, at der er prioriteret efter et krav om større økonomisk sikkerhed. Rangordnes anlægstyperne efter en lav fraktile, f.eks. 20%, prioriteres anlæg med stor usikkerhed relativt højere, hvilket er udtryk for, at brugeren er indstillet på at løbe en relativ større økonomisk risiko. Denne fraktile er i regneeksemplet ca. 123.000 kr. (1980).

Tolkningen af modellens beregningsresultater er nært forbundet med vurderingens hovedsigte og eventuelle restriktioner fra datavalget.

En rangordning af teknologier relateret til et givet behov kan foretages efter mange kriterier, og denne mangetydighed kræver naturligt brugerens vurdering.

Det må desuden forventes, at modellens beregnede størrelser ikke nødvendigvis er helt sammenfaldende med brugerens behov. Modellens tal må derfor sammenstilles efter brugerens kriterier, og det kan være nødvendigt at udvide beregningsstrukturen efter opståede behov. Der kan være interesse for at uddybe vurderingen omkring en given størrelse, men ofte vil man være interesseret i at undersøge, hvor stor en del af varmeudgiften, der direkte afhænger af brændselsprisen, og hvorledes en given rangordning af undersøgte anlægstyper påvirkes af brændselspriserne.

### 2.5. Generel bemærkning

I det foregående er omtalt modellens anvendelse i relation til varmemproducerende anlæg. Den helt analoge problemstilling vil naturligvis genfindes for andre energiproducerende anlæg, og modellens beregningsstruktur vil også genfindes i relationer, som ikke angår energi. I denne indledende beskrivelse er der ligeledes betragtet problemstillinger, hvor et givet nettoenergiebehov skulle dækkes. Modellen vil imidlertid også kunne inddrage energibesparelser, som reducerer behovet, i den økonomiske vurdering. Isoleringsforbedringer vil f.eks. kunne indgå i beregningerne som en primær anlægsdel, der bidrager til dækningsgraden uden at forbruge brændsel.

### 3. BEREGNINGSMETODE

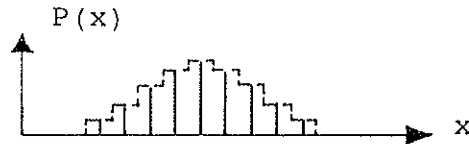
Den væsentlige forskel på beregninger foretaget med den her omtalte model og gængse økonomiske beregninger er, at denne model gør det muligt for brugeren på simpel vis at medregne usikkerheder om parametres værdi.

Da inddata til denne model kan være fordelinger, gives der brugeren mulighed for at repræsentere usikkerhed om værdien af parametre. Ud fra sådanne inddatafordelinger beregner modellen fordelingen for det økonomiske måltal, som giver brugeren information om den samlede virkning af disse usikkerheder og dermed den økonomiske risiko.

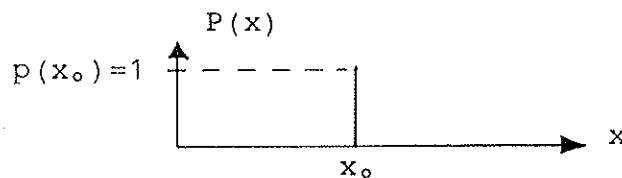
Skønnes f.eks. en variabel  $x$  at ligge i et interval, hvor alle værdier i intervallet kan forekomme med samme sandsynlighed, kan dette repræsenteres med en retangulær fordeling:



Ønsker brugeren at udtrykke en mere nuanceret formodning, hvor nogle værdier anses for at have relativ større sandsynlighed, kunne dette f.eks. være udtrykt i fordelingen:



I grænsen, hvor en fast værdi  $x=x_0$  antages for parameteren vil fordelingen kvalitativt have formen:



Tolkningen er her, at sandsynligheden, for at denne variable antager værdien  $x=x_0$ , er 1.; d.v.s. vished.

Den anvendte formulering ovenfor antyder, at fordelingerne udtrykker brugerens subjektive skøn over usikkerheder.

I modsætning hertil giver fordelingsrepræsentationen naturligvis også mulighed for at udtrykke objektiv viden eller udtømmende empirisk viden, hvis en sådan haves.

Er indholdet i inddatafordelingerne stokastisk uafhængig statistisk viden, udtrykker den beregnede fordeling for det økonomiske måltal en faktisk statistisk information om spredningen i det underliggende ensemble.

I praksis vil inddata til en økonomisk vurdering være en blanding af objektiv viden og subjektive skøn, og ved interpretationen af den resulterende fordeling vil man være interesseret i at kunne skelne disse datatypers indflydelse. Den sideløbende følsomhedsanalyse vil her være en hjælp til at vurdere de forskellige variables indflydelse på bredden i den resulterende fordeling, og således betydningen af disse variable for den økonomiske vurdering.

### 3.1. Valg af beregningsmetode

Beregningen af den samlede virkning af usikkerheder beskrevet i inddatafordelingerne på det økonomiske måltal  $y$ , er i matematisk henseende følgende problem: Beregn sandsynlighedsfordelingen eller tæthedsfunktionen  $P(Y)$  for en størrelse

$$Y = Y(X_1, X_2, \dots, X_n)$$

som er en funktion af mange stokastiske variable (ubestemte størrelser)  $X_1, X_2, \dots, X_n$ . Datafordelingerne  $P(X_1), P(X_2), \dots, P(X_n)$  for de empiriske tekniske og økonomiske størrelser, som her tænkes viderebehandlet i den økonomiske vurdering, vil ofte i deres "rå" tilstand være histogrammer. Formen i disse histogrammer vil kunne være vilkårlig og er ikke knyttet til specielle teoretiske fordelinger. Det er derfor urealistisk at søge analytiske løsninger. Approximative analytiske metoder som begrænser datafordelingsvalget og indfører komplicerede metodeusikkerheder synes umiddelbart utilfredsstillende i denne situation, men som supplerende beregningsmetode benyttes her en simpel approximativ metode til en grov bestemmelse af fordelings spredning. En relevant og fleksibel metode ville være en Monte-Carlo beregning, men det er for de anvendelsessituationer, som denne model retter sig mod, fundet hensigtsmæssigt at foretage en "direkte" gennemregning. Denne beregningsmetode kræver diskret repræsentation af inddatafordelingerne, men dette vil i praksis ikke begrænse modellens anvendelighed. Datafordelingens form og detaljeringsgrad kan være vilkårlig.

Størrelser, som af mangel på tilstrækkelig viden må skønnes subjektivt, kunne man være tilbøjelig til at angive som kontinuerte fordelinger, men da antallet af springpunkter i de diskrete fordelinger kan være vilkårligt, har det ingen praktisk betydning at forudsætte alle datafordelinger angivet i form af normerede søjlediagrammer. Denne explicitte begrænsning er analog til de begrænsninger som regneteknisk måtte stilles ved andre numeriske metoder. Brugeren vil kunne vælge en detaljeringsgrad i datafordelingerne, som tilfredsstiller behovet for informationsindhold.

Programmet gennemregner i princippet samtlige inddatakombinationer, men regnetidsforbruget er reduceret ved en opsplitning af beregningsgangen.

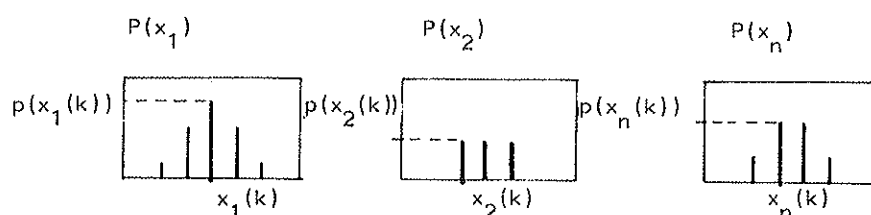
### 3.1.1. "Direkte" metode

En "direkte" beregning af  $y$ -fordelingen indebærer en beregning af  $y$ 's værdi for samtlige parameterkombinationer. Haves f.eks. de stokastisk uafhængige inddatafordelinger

$$P(X_1), P(X_2), \dots, P(X_n)$$

som er vist nedenfor, kan den  $k$ -te parameterkombination betegnes ved

$$\vec{x}_k = (x_1(k), x_2(k), \dots, x_n(k))$$



Figur 2.

Sandsynligheden for denne parameterkombination er produktet af sandsynlighederne for, at de enkelte parameterværdier forekommer, d.v.s:

$$p(\vec{x}_k) = p(x_1(k)) \cdot p(x_2(k)) \cdot \dots \cdot p(x_n(k))$$

Dette sandsynlighedselement tilknyttes  $y$ -værdien

$$y(\vec{x}_k) = y(x_1(k), x_2(k), \dots, x_n(k)).$$

I beregningen er der altså to sideløbende regnestykker. Det ene beregner sandsynligheder, og det andet beregner de  $y$ -værdier sandsynlighederne er knyttet til.

Gennemregnes således samtlige inddatakombinationer, fås et meget stort antal af sammenhørende værdier for  $y$  og  $p(y)$ , som tilsammen udgør den ønskede fordeling  $P(Y)$ .

Betegner  $S_i$  antallet af søjler i fordelingen for parameteren  $x_i$  kan antallet af parameterkombinationer  $KD$  beregnes som

$$KD = S_1 \cdot S_2 \cdot \dots \cdot S_n$$

Antages eksempelvis at der i en økonomisk vurdering indgår  $n=10$  variable med fordeling, og at alle fordelingerne er fastlagt med  $S_1=S_2=\dots=S_{10}=10$  søjler, bliver

$$KD=10^{10}$$

Algoritmen  $y=y(x_1, x_2, \dots, x_n)$  skal altså gennemregnes  $10^{10}$  gange ved en bestemmelse af  $P(Y)$  med denne direkte metode. Dette betyder et regnetidsforbrug i størrelsesordenen år.

### 3.1.2. Rationaliseret "direkte" metode

Den rationaliserede beregningsgang, som anvendes i modellen tager udgangspunkt i funktionsformen for den økonomiske størrelse  $Y$ .

I det følgende vil metoden (her kaldet RD-metoden) blive illustreret under antagelse af, at funktionen  $y$  har formen:

$$Y = A(X_1, X_2, X_3, R) + B(X_4, X_5, X_6, R) \cdot C(X_7, X_8, X_9, R),$$

hvor  $X_1, \dots, X_9, R$  er uafhængige stokastiske variable med diskrete sandsynlighedsfordelinger.

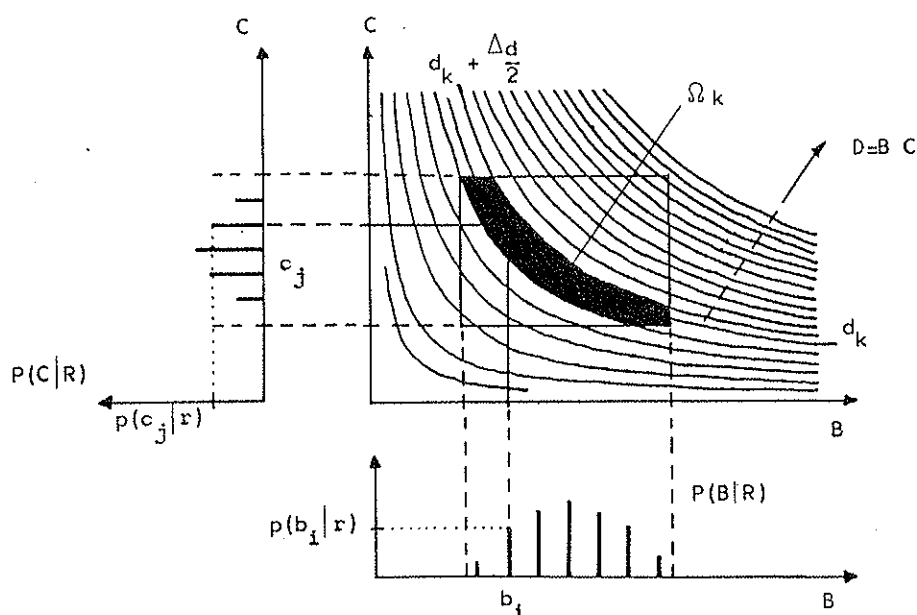
Da den stokastiske variabel  $R$  (f.eks. kalkulationsrenten), er gennemgående i funktionerne  $A, B$  og  $C$ , beregnes først de betingede fordelinger  $P(Y|R)$ . Ved beregningen af en betinget fordeling foretages den yderligere opsplitning, som består i beregningen af de betingede partielle fordelinger

$$P(A|R), P(B|R) \text{ og } P(C|R).$$

En selvstændig beregning af  $P(A|R)$  er mulig, da ingen variable fra A optræder i B og C bortset fra R, som er fastholdt i beregningen af den betingede fordeling. Tilsvarende er B og C afgrænset, så der opnås "isolerede" variabelgrupper, som kan beregnes selvstændig.

Den betingede fordeling  $P(Y|R) = P(Y=A+B.C|R)$  beregnes nu via fordelingerne for de substituerede uafhængige stokastiske variable A, B og C ved fastholdt R. Fordelingerne hørende til A, B og C er beregnet ved brug af den førmtalte direkte metode, og der er valgt en gruppering i disse diskrete fordelinger, som er tilpasset behovet for regnenøjagtighed.

Beregningen af fordelingen  $P(D|R) = P(B.C|R)$  udføres først. Sandsynligheden for, at den stokastiske variabel  $D=B.C$  antager værdien  $D=d_k$ , fås ved addition af sandsynligheder hørende til de  $(b_i, c_j)$ -kombinationer, hvor produktet  $b_i \cdot c_j = d_k$ . Dette er illustreret på nedenstående figur 3).



Figur 3.

Talpar  $(b, c)$ , hvis produkt  $b.c = d_k$ , beskriver hyperblen mærket  $d_k$ .

Samtlige relevante (b,c)-kombinationer er på figuren beskrevet ved gitterpunkter i det fremhævede rektangel i (B,C)-planen.

I området udenfor det optrukne rektangel vil enten  $p(b|r)$  eller  $p(c|r)$  være nul, og (b,c)-kombinationer herfra vægter derfor ikke med i D-fordelingen.

Sandsynligheden for at en (b,c)-kombination optræder, - f.eks. at både  $b_i$  og  $c_j$  forekommer, er produktsandsynligheden

$$p(b_i|r) \cdot p(c_j|r)$$

Grupperes fordelingen for D med intervallængden  $\Delta d$ , vil sandsynligheden for, at D antager en værdi i intervallet

$$I_k = \left[ -\frac{\Delta d}{2} + d_k; d_k + \frac{\Delta d}{2} \right]$$

være summen

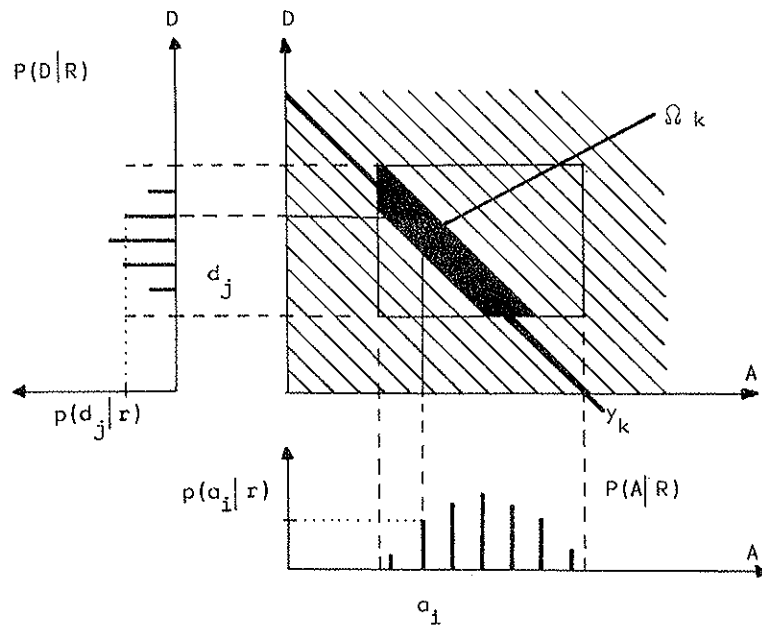
$$p(D \in I_k | r) = \sum_{b_i, c_j \in \Omega_k} p(b_i|r) \cdot p(c_j|r)$$

af produkter  $p(b_i|r) \cdot p(c_j|r)$  for (b,c)-værdier i det mørke område  $\Omega_k$  på figuren.

Fordelingen  $P(D|r)$  fås ved på denne måde at opsamle sandsynligheder for alle områderne  $\Omega_k$  i det fremhævede rektangel på figur 3).

Den søgte betingede fordeling for Y givet R,  $P(Y=A+D|R)$ , beregnes herefter ved foldning af fordelingerne  $P(A|R)$  og  $P(D|R)$ . Regneprocessen i foldningen er illustreret på figur 4).





Figur 4.

Talpar  $(a,d)$  med konstant sum  $y_k = a+d$  beskriver en ret linie diagonalt i  $(A,D)$ -planen.

Analogt til før er sandsynligheden, for at  $y$  ligger i intervallet

$$I_k = \left[ -\frac{\Delta y}{2} + y_k ; y_k + \frac{\Delta y}{2} \right]$$

givet som sandsynligheden for hændelsen  $\Omega_k$ , altså:

$$p(y \in I_k | r) = \sum_{a_i, d_j \in \Omega_k} p(a_i | r) \cdot p(d_j | r)$$

$P(Y|R)$  opbygges ved at opsamle sandsynligheder for alle områderne  $\Omega_k$  over  $(A,D)$ -planen, og grupperingen i denne betingede fordeling er givet ved intervalllængden  $\Delta y$ .

Er antallet af stolper i  $R$ -fordelingen  $SR$ , beregnes  $SR$  betingede fordelinger  $P(Y|r)$  ved gentagelse af den ovenfor beskrevne procedure.

Den ønskede fordeling  $P(Y)$  kan herefter bestemmes ved simpel sammenvægtning af de betingede fordelinger

$$P(Y|r_1), P(Y|r_2), \dots, P(Y|r_{SR})$$

Sandsynligheden for, at  $Y$  antager værdien  $Y=y_i$  beregnes som

$$p(Y=y_i) = p(y_i|r_1) \cdot p(r_1) + p(y_i|r_2) \cdot p(r_2) + \dots + p(y_i|r_{SR}) \cdot p(r_{SR})$$

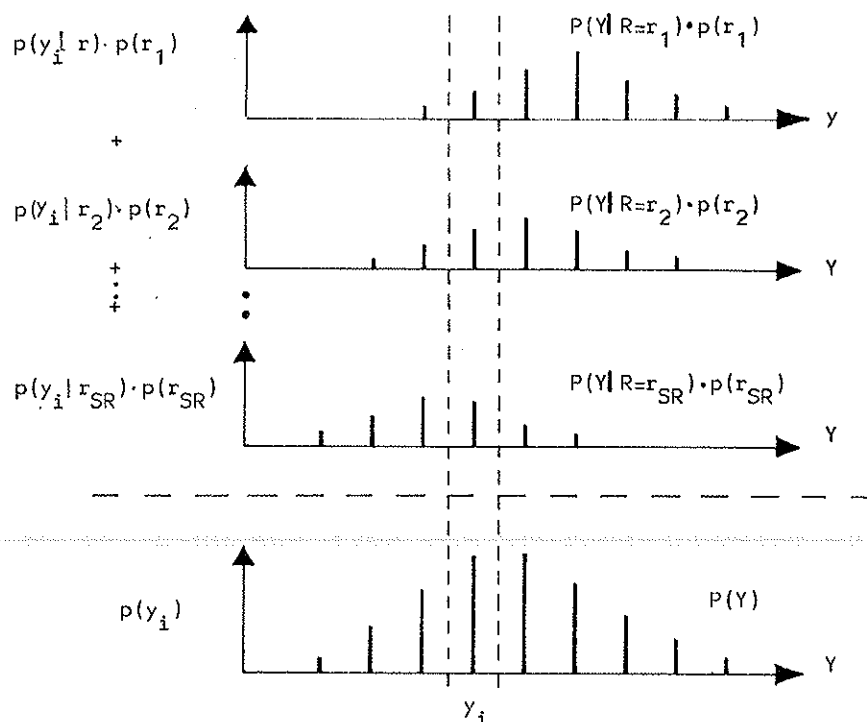
De betingede fordelinger  $P(Y|r_j)$  vægtes med sandsynligheden for, at  $r_j$  optræder  $p(R=r_j)$ , som anskueliggjort på figur 5).

På figur 5) er de unormerede fordelinger  $P(Y|R=r_j) \cdot p(R=r_j)$  anskueliggjort over den stiplede linie.

Disse vægtede betingede fordelinger, summeres søjlevis til den endelige fordeling  $P(Y)$ .

Da alle inddatafordelinger er normerede, er  $P(Y)$  normeret, d.v.s.

$$\sum_i p(y_i) = 1$$



Figur 5.

Det følgende er et groft overslag over regnetidsforbruget, når denne beregningsgang benyttes.

Det antages som før at alle inddatafordelinger er beskrevet ved stolpediagrammer med  $S=10$  stolper. Bestemmelsen af den partielle betingede fordeling  $P(A(X_1, X_2, X_3) | R)$  kræver derfor  $10^3$  gennemregninger af algoritmen for A. Er tidsforbruget ved hver  $(a_i, p(a_i))$  beregning  $b$ , er tidsforbruget til beregning af  $P(A(x_1, x_2, x_3) | R)$  lig med  $b \cdot 10^3$ . Antages tidsforbruget at være det samme for de øvrige partielle fordelinger, er tidsforbruget til bestemmelse af  $P(Y | R)$

$$3 \cdot b \cdot 10^3 + 2 \cdot f$$

hvor  $f$  er regnetiden for en foldning. Der var  $SR=10$  betingede fordelinger - en for hver stolpe i R-fordelingen - og disse skal vægtes sammen. Det totale tidsforbrug kan derfor skønnes til

$$PTRD = 10 \cdot (3 \cdot b \cdot 10^3 + 2 \cdot f) + 9 \cdot v$$

hvor  $9 \cdot v$  er tidsforbruget for sammenvægtningen af 10 betingede fordelinger.

Beregning af  $P(Y)$  med den direkte metode krævede  $10^{10}$  gennemregninger af algoritmen for Y. Kaldes tidsforbruget for hver gennemregning  $B$ , kan forholdet mellem de to metoders regnetidsforbrug udtrykkes som:

$$\frac{PTRD}{PTD} = \frac{10 \cdot (3 \cdot b \cdot 10^3 + 2 \cdot f) + 9 \cdot v}{B \cdot 10^{10}}$$

Antages nu yderligere at  $b=B=1$  og  $f=v=10^3$ , er  $\frac{PTRD}{PTD} = 10^{-5} - 10^{-6}$ , d.v.s. som størrelsesforholdet mellem minutter og år.

### 3.1.3. Resume af beregningsgangen

Den anvendte beregningsmetode kan kort sammenfattes på følgende måde:

Er der forelagt funktionsudtrykket for en økonomisk størrelse  $y$ , undersøges først, hvilke isolerede variabelgrupper der kan dannes (substitutionsmuligheder A, B, C...), og hvilke gennemgående variable ( $R_1 \dots$ ) der hører til denne opdeling af  $y$ .

Herpå skønnes eller beregnes, hvilke af disse muligheder der regnetidsmæssig er fordelagtige.

Er en dekomponeret beregningsstrategi valgt, programmeres beregningsgangen for de betingede partielle fordelinger, og foreskrifter for hvorledes disse skal kombineres til betingede fordelinger med evt. flere fastholdte variable. Betingede fordelinger sammenvægtes og danner evt. nye betingede fordelinger. Med beregningskridt af denne type fortsættes opbygningen af  $P(Y)$ .

#### 3.1.4. Approximativ bestemmelse af $\sigma(Y)$

Beregningsmodulet i programpakken indeholder desuden en supplerende beregningsmetode (her kaldet 2M-metoden), som approximativt beregner de to første momenter, for fordelingen  $P(Y)$  - middelværdien  $\bar{Y}$  og spredningen  $\sigma(Y)$ . I almindelighed vil man interessere sig for formen af  $P(Y)$  (d.v.s. alle momenter), men i extreme situationer, hvor RD-metoden kunne vise sig for tidskrævende, giver 2M-metoden mulighed for en hurtig approximativ beregning også i tilfælde, hvor inddata-fordelingerne indeholder korrelationer. Iøvrigt vil i almindelighed den eksakte fordeling  $P(Y)$  for voksende antal af indgående fordelinger ( $n$ ), nærme sig en normalfordeling, hvis datafordelingernes variationsområde er "lille". Fordelingstypen vides derfor at være nær en normalfordeling, hvorfor interessen i denne specielle situation netop er rettet mod at bestemme middelværdien og spredningen, der fastlægger denne normalfordeling.

Det approximative ved 2M-metoden ligger i, at funktionen  $y$  rækkeudvikles til 1.orden, og at der yderligere for denne lineære funktions fordeling kun beregnes de to første momenter.

Metoden kræver derfor, at  $y$ 's variation er tilnærmelsesvis lineær i alle variable hen over variationsbredden af inddatafordelingerne. Desto "nærmere" inddatafordelingerne er normalfordelinger, desto bedre lader  $P(Y)$  sig beskrive med normalfordelingen med middelværdi og spredning beregnet med 2M-metoden.

Rækkeudviklingen af  $y$  til 1.orden foretages omkring middelværdierne for inddatafordelingerne  $(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_n)$ :

$$y(x_1, \dots, x_n) \sim y^*(x_1, \dots, x_n) = y(\bar{x}_1, \dots, \bar{x}_n) + \frac{\partial y}{\partial x_1} (x_1 - \bar{x}_1) + \dots + \frac{\partial y}{\partial x_n} (x_n - \bar{x}_n),$$

hvor de partielle afledede er beregnet i punktet  $(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_n)$ .

Middelværdien af  $y^*$  (1.moment) er  $y^*(x_1, \dots, x_n) = y^*(\bar{x}_1, \dots, \bar{x}_n)$ , og variansen (2.moment) beregnes som:

$$\text{Var}(y^*) = \left(\frac{\partial y}{\partial x_1}\right)^2 \cdot \text{var}(x_1) + \dots + \left(\frac{\partial y}{\partial x_n}\right)^2 \cdot \text{var}(x_n) + 2 \cdot \frac{\partial y}{\partial x_1} \cdot \frac{\partial y}{\partial x_2} \cdot \text{cov}(x_1, x_2) + \dots + 2 \cdot \frac{\partial y}{\partial x_{n-1}} \cdot \frac{\partial y}{\partial x_n} \cdot \text{cov}(x_{n-1}, x_n).$$

Er  $(x_1, \dots, x_n)$  stokastisk uafhængige, reduceres dette udtryk til

$$\text{Var}(y^*) = \left(\frac{\partial y}{\partial x_1}\right)^2 \cdot \text{var}(x_1) + \dots + \left(\frac{\partial y}{\partial x_n}\right)^2 \cdot \text{var}(x_n).$$

Taylor-udvikles  $y$  til 2.orden omkring  $(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_n)$

$$y(x_1, \dots, x_n) \sim y(\bar{x}_1, \dots, \bar{x}_n) + \sum_{i=1}^n \frac{\partial y}{\partial x_i} (x_i - \bar{x}_i) + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{\partial^2 y}{\partial x_i \partial x_j} \cdot (x_i - \bar{x}_i) \cdot (x_j - \bar{x}_j),$$

kan middelværdien beregnes som:

$$\bar{y} \sim y(\bar{x}_1, \dots, \bar{x}_n) + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{\partial^2 y}{\partial x_i \partial x_j} \cdot \text{cov}(x_i, x_j),$$

og for stokastisk uafhængige variable vil middelværdien til 2.orden være

$$\bar{y} \sim y(\bar{x}_1, \dots, \bar{x}_n) + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \frac{\partial^2 y}{\partial x_i^2} \cdot \text{var}(x_i)$$

Betingelsen, at  $y$  skal variere lineært over variationsområdet for parameterne  $(x_1, \dots, x_n)$ , vil kun sjældent kunne siges at være opfyldt i de anvendelsessituationer denne programpakke retter sig mod. Men ønskes den økonomiske vurdering foretaget med data på et meget disaggregeret niveau, med relativ små spredninger på de enkelte data fordelinger, vil denne metode være relevant.

I denne programpakke benyttes 2M-metoden desuden for at kunne sammenligne resultater herfra med resultater fra RD-metoden.

### 3.2. Følsomhedsanalyse

Fordelingen  $P(Y)$  viser som sagt den samlede virkning af usikkerheder eller variationsforhold udtrykt i inddatafordelingerne. Denne information ønskes uddybet gennem en beskrivelse af, hvor meget den enkelte variabel påvirker bredden i fordelingen  $P(Y)$ . Derfor beregnes følsomheden i  $y$  over for relative variationer i de variable  $x_i$  for let at kunne identificere særlig betydningsfulde parametre. I tilknytning hertil ønskes på overskuelig og sammenlignende måde betydningen af de enkelte inddatafordelinger kvantificeret. Dette sidste er også søgt opnået ved at foretage traditionelle følsomhedsberegninger omkring parametermiddelværdierne  $(\bar{x}_1, \dots, \bar{x}_n)$ .

Den førstnævnte fordelingsuafhængige følsomhedsanalyse beregner

$$\begin{matrix} y(\bar{x}_1 - \Delta x_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3, \dots, \bar{x}_n) & , & y(\bar{x}_1 + \Delta x_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3, \dots, \bar{x}_n) \\ \vdots & & \vdots \\ y(\bar{x}_1, \dots, \bar{x}_{n-1}, \bar{x}_n - \Delta x_n) & , & y(\bar{x}_1, \dots, \bar{x}_{n-1}, \bar{x}_n + \Delta x_n) \end{matrix}$$

hvor f.eks

$$\frac{\Delta x_1}{\bar{x}_1} = \frac{\Delta x_2}{x_2} = \dots = \frac{\Delta x_n}{x_n} = \alpha$$

Virksomheden på  $y$  omkring værdien  $y(\bar{x}_1, \dots, \bar{x}_n)$  af lige store relative ændringer i parametrene  $(x_1, \dots, x_n)$  kan f.eks. sammenlignes gennem størrelserne:

$$\frac{\pm y(\bar{x}_1, \dots, \bar{x}_n) \mp y(\bar{x}_1, \dots, \bar{x}_i \pm \alpha \cdot \bar{x}_i, \dots, \bar{x}_n)}{y(\bar{x}_1, \dots, \bar{x}_n)}$$

$$i=1, \dots, n$$

De enkelte inddatafordelingers indvirken på bredden i  $P(Y)$ , vil vi udtrykke med størrelserne

$$\begin{array}{ccc} y(\bar{x}_1 - k \cdot \sigma(x_1), \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_n) & , & y(\bar{x}_1 + k \cdot \sigma(x_1), \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_n) \\ \vdots & & \vdots \\ y(\bar{x}_1, \dots, \bar{x}_{n-1}, \bar{x}_n - k \cdot \sigma(x_n)) & , & y(\bar{x}_1, \dots, \bar{x}_{n-1}, \bar{x}_n + k \cdot \sigma(x_n)) \end{array}$$

hvor

$$\sigma(x_i) = \sqrt{\text{var}(x_i)}$$

er spredningen i inddatafordelingen for  $x_i$ .

Den geometriske middelværdi af differenserne

$$\Delta_i = y(\bar{x}_1, \dots, \bar{x}_i + \sigma(x_i), \dots, \bar{x}_n) - y(\bar{x}_1, \dots, \bar{x}_i - \sigma(x_i), \dots, \bar{x}_n) ,$$

altså:

$$\sigma(y^*) = \sqrt{\Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \dots + \Delta_n^2}$$

ville være spredningen i  $P(Y)$ , dersom  $y$  var en lineær funktion  $y=y^*$ , og de variable  $(x_1, \dots, x_n)$  var stokastisk uafhængige. Funktionen  $y$  er ikke lineær, men trods denne løse sammenhæng viser tallene  $\Delta_i$ ,  $i=1, \dots, n$  dog den grovere virkning (til 1. orden) af bredden i inddatafordelingerne på  $P(Y)$ .

På beskrivelsesarket præsenteres et udvalg af disse tal på grafisk form under grafen for  $P(Y)$ , som vist på figur 1. På denne figur er det tilnærmede udtryk for den enkelte datafordelings indflydelse på  $P(Y)$  illustreret ved åbningen i en brudt vandret bjælke. Hvis den partielle afledede med hensyn til den pågældende parameter er positiv  $\frac{\partial y}{\partial x_i} \geq 0$ , er dette angivet i bjælkens venstre side med et "+", og i dette tilfælde beregnes brudpunkternes koordinater som hhv.

$$y(\bar{x}_1, \dots, \bar{x}_i - 2 \cdot \sigma(x_i), \dots, \bar{x}_n) \text{ og } y(\bar{x}_1, \dots, \bar{x}_i + 2 \cdot \sigma(x_i), \dots, \bar{x}_n).$$

Er den partielle afledede negativ angives et "-", og højre brudpunkt er nu knyttet til parameterværdien  $\bar{x}_i - 2 \cdot \sigma(x_i)$ .

En tilsvarende illustrering kan vælges for den fordelingsuafhængige følsomhedsanalyse.

#### 4. NUVÆRDI AF N ÅRS VARMEUDGIFTER

Hvad koster det at dække et opvarmningsbehov med et givet varmeanlæg i en periode på N år. Hvad ville denne udgift være med et andet anlæg under de samme generelle forudsætninger. Hvilke usikkerheder knytter sig til disse tal, og hvilke størrelser har særlig betydning for det økonomiske billede.

Data nødvendige for besvarelsen af sådanne spørgsmål kan behandles i et programmodul, som beregner nuværdien af udgifter til dækning af en boligs nettovarmebehov over et tidsrum på N år. Programmet tilbagediskonterer eller fremdiskonterer betalinger til et referencetidspunkt år  $t=0$ , der ofte fastlægges som tidspunktet, hvor anlæget tages i drift.

Kalkulationsrenten, som danner forbindelse mellem beløb til forskellige tidspunkter, vælges ofte bekvemt som en real rente, hvorved generelle inflationsforhold ikke spiller ind i datagivningen. Sammenhængen mellem den reale rente  $r$ , inflationen  $I$  og den nominelle rente  $R$  er

$$(1+r) \cdot (1+I) = (1+R) \quad .$$

Efter korrektion af den nominelle rente for inflationen fremstår den reale rente  $r$ , som udtrykker den reelle tilvækst i købekraft. Rentefradrag og rentebeskatning påvirker værdien af realrenten gennem en reduktion af den nominelle rente til  $R_s = R \cdot (1-s)$ , hvor  $s$  normalt vil vælges som brugerens marginale skatteprocent.

I nuværdiberegninger antages ofte at den rente vi må betale for lånte penge, og den renteindtægt vi får ved udlån af penge er den samme. Denne antagelse er også gjort i denne modelversions beregningsstruktur, hvorfor afvigelser herfra må angives via prisdata.

Valget af kalkulationsrente kan gøres efter mange kriterier og vil være individuelt for den enkelte bruger. Valget vil bl.a. afhænge af, hvilken renteindtægt brugeren vil kunne opnå ved



alternative investeringer. Renteniveauet for obligationer kunne være en relevant størrelse for privatpersoner at forbinde med den nominelle rente. Virksomheder vil normalt tage udgangspunkt i det afkast en merinvestering i virksomhedens produktion kunne give, og den offentlige sektor kunne lade overvejelser om forhold angående beskæftigelse og betalingsbalance indgå i bestemmelsen af kalkulationsrenten.

I nuværdiberegninger vil en relativ høj kalkulationsrente betyde, at fremtidige betalinger vil indgå med en relativ mindre vægt, og virkninger på kort sigt får tilsvarende større vægt. I denne programpakke kan brugeren indregne en usikkerhed om kalkulationsrentens størrelse ved at udtrykke denne gennem en sandsynlighedsfordeling.

Nuværdien NU kan skrives som summen

$$NU = A + B$$

hvor B betegner brændselsudgifterne over beregningsperioden, og A er nuværdien af betalingsrækker hørende til anlægsinvesteringer, re-investeringer, vedligehold og pasning m.v.. I det følgende beskrives først modellens behandling af de brændselsuafhængige betalingsrækker A.

#### 4.1. Brændselsuafhængige betalingsrækker

De brændselsuafhængige betalinger A kan skrives som

$$A = \sum_i (I_i^o - R_i^o) = \sum_i I_i^*$$

hvor  $I_i^o$  betegner nuværdien af den i-te investering, og  $R_i^o$  er nuværdien af restværdien  $R_i$  i denne investering på sluttidspunktet for den valgte beregningsperiode  $t=N$ .

Foretages den i-te investering  $I_i$  i starten af år  $t=s_i$  er nuværdien  $I_i^o = I_i \cdot (1-r)^{-s_i}$ .

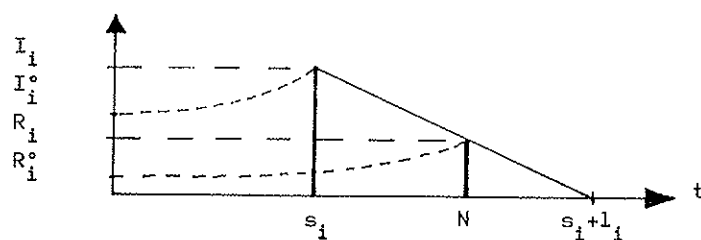
Det kan ofte være vanskeligt at skønne restværdien  $R_i$  af en investering  $I_i$ . Brugeren kan her vælge explicit at fastlægge en restværdi, evt. med fordeling, for de investeringer der forven-

tes at have en teknisk/økonomisk levetid, som løber videre end beregningsperioden  $N$ . Herudover giver programmet brugeren mulighed for nemt at fastlægge en ensartet procedure ved restværdiberegninger, idet programmet tillader implicit restværdiberegning. Denne facilitet tilbyder valget blandt to metoder, (T1, T2) som ofte anvendes.

#### 4.1.1. Restværdiberegning

##### T1 lineær restværdiberegning:

Den første metode T1 er illustreret på nedenstående figur 6).



Figur 6.

Levetiden for investeringen  $I_i$  foretaget i år  $t=s_i$  kaldes  $l_i$ .

Det antages her, at realværdien af investeringen afskrives lineært over investeringens tekniske/økonomiske levetid  $l_i$ . Restværdien beregnes da som

$$R_i = I_i \cdot \left( 1 - \frac{N-s_i}{l_i} \right),$$

og nuværdien af restværdien vil være

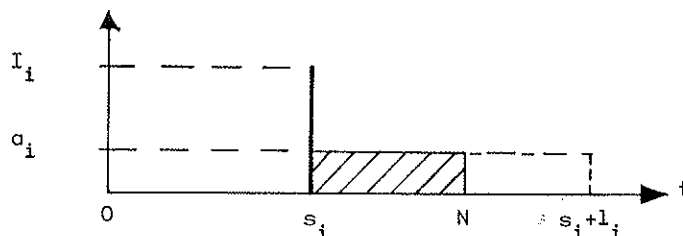
$$R_i^o = I_i \cdot \left( 1 - \frac{N-s_i}{l_i} \right) \cdot (1+r)^{-N}$$

Den korrigerede nuværdi  $I_i^*$  beregnes derfor efter T1-metoden som

$$\begin{aligned} I_i^* &= I_i^o - R_i^o \\ &= I_i \cdot (1+r)^{-s_i} \cdot \left[ 1 - \left( 1 - \frac{N-s_i}{l_i} \right) \cdot (1+r)^{-N+s_i} \right] \end{aligned}$$

## T2 restværdiberegning via annuiteter:

Den anden metode T2 er illustreret på figur 7).



Figur 7.

Investeringen  $I_i$  annuises over levetiden  $l_i$  med kalkulationsrenten  $r$ . Den årlige reale ydelse er da

$$a_i = I_i \cdot f_{kd}(r, l_i) ,$$

hvor kapitalopdelingsfaktoren er givet som

$$f_{kd}(r, l_i) = \frac{r}{1 - (1+r)^{-l_i}} ,$$

På figur 7 ses restværdien symboliseret som det uskraverede rektangel. Nuværdien af betalingsrækken i dette rektangel beregnes som

$$R_i^o = I_i \cdot f_{kd}(r, l_i) \cdot [f_{nu}(r, s_i + l_i) - f_{nu}(r, N)] ,$$

hvor der er indført nuværdifaktoren

$$f_{nu}(r, T) = (f_{kd}(r, T))^{-1} = \frac{1 - (1+r)^{-T}}{r}$$

Den korrigerede nuværdi  $I_i^* = I_i^o - R_i^o$  for investeringen  $I_i$  er efter denne metode T2 givet som:

$$\begin{aligned} I_i^* &= I_i \cdot (1+r)^{-s_i} - I_i \cdot f_{kd}(r, l_i) \cdot [f_{nu}(r, s_i + l_i) - f_{nu}(r, N)] \\ &= I_i \cdot f_{kd}(r, l_i) \cdot [f_{nu}(r, N) - f_{nu}(r, s_i)] \end{aligned}$$

### Sammenligning af T1 og T2:

Den sidst omtalte metode, T2, som er den mest anvendte, relaterer sig i særlig grad til situationer, hvor det drejer sig om opvarmningsanlæg, der også efter beregningsperioden tænkes vedligeholdt gennem re-investeringer. I forhold til T1-metoden er restværdier beregnet efter denne metode noget højere. Forskellen i restværdiberegningen år N ved de to metoder er

$$\begin{aligned} R_2 - R_1 &= I \cdot f_{kd}(r, l) \cdot f_{nu}(r, s+l-N) - I \cdot (1 - \frac{N-s}{I}) \\ &= I \cdot ( \frac{N-s}{1} - \frac{(1+r)^{N-s}-1}{(1+r)^1-1} ) \end{aligned}$$

som omregnet til nuværdi i år  $t=0$  er

$$R_2^0 - R_1^0 = (R_2 - R_1) \cdot (1+r)^{-N}$$

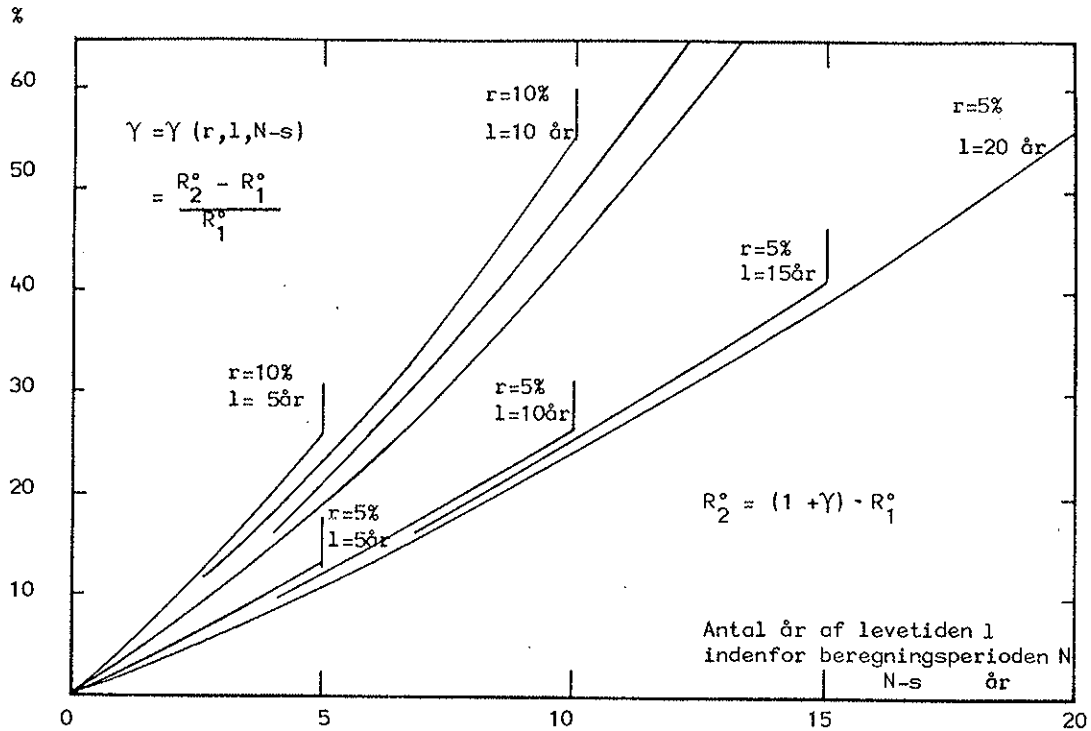
Defineres

$$\gamma = \frac{R_2^0 - R_1^0}{R_1^0} = \left( \frac{N-s}{1} - \frac{(1+r)^{N-s}-1}{(1+r)^1-1} \right) / (1 - \frac{N-s}{I})$$

er

$$R_2^0 = (1+\gamma) \cdot R_1^0$$

Figur 8) viser  $\gamma = \gamma(r, l, N-s)$  i nogle udvalgte situationer. Abscisseaksen viser  $N-s$ ; d.v.s. den del af levetiden som ligger inden for beregningsperioden  $N$ .



Figur 8.

#### 4.1.2. Investeringsdata.

Programmet kan modtage et vilkårligt antal af delinvesteringer. Vælger brugeren at lade programmet foretage restværdiberegningen, kan han vælge T1 eller T2, og en delinvestering specificeres da med størrelserne:

- I: Realværdien, af investeringen (t=0-priser)
- S: Investerings tidspunktet,
- L: Levetiden for investeringen.

Disse tre parametre kan opgives med fordelinger

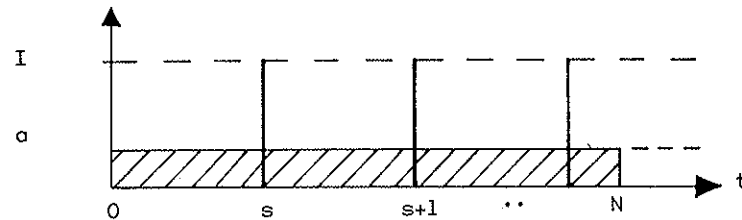
$$P(I), \quad P(S) \text{ og } P(L)$$

Programmet korrigerer implicit nuværdien af investeringen, dersom levetiden for investeringen rækker ud over beregningsperioden.

Udløber investeringens levetid inden for beregningsperioden,  $s+l \leq N$  er restværdien naturligvis  $R=0$ .

I tilfælde, hvor  $s+1 \leq N$ , kunne brugeren ønske investeringen gentaget ved udløbet af levetiden til tidspunktet  $t=s+1$ .

Det er derfor muligt i programmet at vælge implicit re-investering. Princippet i denne mulighed er vist på nedenstående figur.



Figur 9.

Tænkes en investering annuieret over levetiden  $l$ , er den årlige ydelse

$$a = I \cdot f_{kd}(r, l)$$

Den implicitte re-investering,  $IR1$ , knytter nuværdien af den på figuren skraverede betalingsrække til investeringen  $I$ . Denne nuværdi er

$$\begin{aligned} I^{IR1} &= I \cdot f_{kd}(r, l) \cdot [f_{NU}(r, N) - f_{NU}(r, s)] \\ &= I \cdot \frac{(1+r)^{-s} - (1+r)^{-N}}{1 - (1+r)^{-1}} \end{aligned}$$

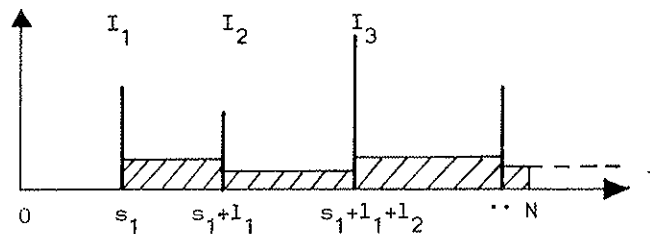
Hver kombination af parametrene  $(I_i, s_j, l_k)$  fastlægger en betalingsrække som vist på figur 9), og en sådan betalingsrække vægter med produktsandsynligheden  $p(I_i) \cdot p(s_j) \cdot p(l_k)$ .

Ønskes som inddata en investeringsrække bestående af årlige i realværdi lige store betalinger, kan dette opnås ved at benytte inddatarutinen  $KI$ . Opgives en årlig betaling  $v$  eller fordelingen  $P(V)$  under denne inddatarutine, beregnes nuværdien af  $N$  årlige betalinger begyndende fra år  $t=1$ , altså:

$$v^{KI} = v \cdot f_{NU}(r, N) = v \cdot \frac{1 - (1+r)^{-N}}{r}$$

Denne kompakte angivelse af en konstant betalingsrække kunne f.eks. anvendes for årlige vedligeholdelsesudgifter, der ofte antages at følge inflationen.

Brugeren vil også kunne angive en vilkårlig kæde af investeringer. Denne mulighed er illustreret på figur 10).



Figur 10.

Første investering i kæden beskrives ved investeringstidspunktet  $s_1$ , levetiden  $l_1$  og investeringens størrelse  $I_1$ . Tidspunktet for den næste investering i følgen er fastlagt som  $t=s_1+l_1$ , hvorfor denne investering er bestemt ved investeringens levetid  $l_2$  og investeringens størrelse  $I_2$ . Tredie investering foretages til tiden  $t=s_1+l_1+l_2$  o.s.v. Størrelserne

$$s_1, l_1, I_1, l_2, I_2, \dots, l_m, I_m$$

kan angives med sandsynlighedsfordeling. Hvis levetiden for en datakombination i investeringenskæden er større end beregningsperioden,  $s_1+l_1+l_2+\dots+l_m \geq N$ , medtages kun de led, som ligger indenfor beregningsperioden, og det sidste medtagne led "i" korrigeres for restværdi. Sandsynligheden for denne investeringskombination beregnes som

$$p(s_1) \cdot p(I_1) \cdot p(l_1) \cdot \dots \cdot p(I_i) \cdot p(l_i),$$

hvor  $I_i$  er sidste investeringsdel indenfor beregningsperioden  $t=N$ .

#### 4.1.3. Resumé af investeringsdatagivningen

Data for investeringsforløb kan gives til programmet gennem 4 inddatarutiner, og den enkelte inddatarutine kan kaldes et vilkårligt antal gange. Typen af data til disse rutiner er følgende:

- 1) Enkeltinvesteringer.  
Enhver enkeltinvestering specificeres ved investeringstidspunkt  $S$ , investeringens størrelse  $I$  og levetiden  $L$ , som kun har betydning for restværdiberegningen.
- 2) Faste årlige betalinger.  
Angives størrelsen  $V$  af en årlig tilbagevendende investering, medregner programmet nuværdien af denne årlige udgift for hele beregningsperioden  $N$ .
- 3) Simpel investeringskæde.  
Til denne rutine opgives begyndelsestidspunktet  $S$  for kæden samt grundinvesteringens størrelse  $I$  og levetid  $L$ . Programmet foretager da identiske re-investeringer beregningsperioden ud.
- 4) Vilkårlig investeringskæde.  
Investeringskædens begyndelsestidspunkt  $S$  angives. Alle investeringsled i kæden specificeres ved investeringens størrelse  $I_i$  og levetid  $L_i$ . Programmet fastlægger investeringstidspunktet for et investeringsled som udløbstidspunktet for den foregående investering.

Alle størrelser til disse inddatarutiner kan angives med sandsynlighedsfordeling.

#### 4.2. Brændselsudgifter B

Varmeanlægget tænkes installeret i en bolig med det årlige nettovarmebehov  $E$ . Var anlægget i denne bolig f.eks. et oliefyr med virkningsgraden  $\eta_0$ , der førte varme til et varmfordelingssystem med virkningsgraden  $\eta_v$ , ville brændselsforbruget være

$$\frac{E}{\eta_0 \cdot \eta_v} = \frac{E}{\eta} \quad ,$$

hvor vi har defineret en samlet effektivitet  $\eta = \eta_0 \cdot \eta_v$



Kaldes prisen pr. energienhed gasolie år  $t=i$  for  $c(i)$ , er brændselsudgiften dette år:

$$\frac{E}{\eta} \cdot c(i)$$

Omregnes denne udgift til nuværdi år  $t=0$  fås

$$b(i) = E \cdot \frac{1}{\eta} \cdot \frac{c(i)}{(1+r)^i}$$

Realpriser på energi fremover tænkes kendt fra prognoser, som brugeren ansætter eller vælger. Derfor kan nuværdien af de forventede brændselsudgifter gennem beregningsperioden beregnes som

$$B = E \cdot \frac{1}{\eta} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{c(i)}{(1+r)^i}$$

Lad det herefter være antaget at boligen ikke var olieopvarmet, men havde installeret f.eks. en eldreven varmepumpe med supplerende elvarme. Varmepumpedelen af dette kombinerede anlæg dækker brøkdelen  $\delta$  (dækningsgraden) af det årlige nettovarmebehov  $E$ , og det resterende varmebehov  $(1-\delta) \cdot E$  bliver tilført boligen som direkte elvarme.

Varmepumpen vil, når den indgår i dette varmesystem, have den årsmidlede energifaktor  $\epsilon$ . Betegner  $\eta_v$  også her varmefordelings-systemets effektivitet, er varmepumpens årlige el-forbrug givet som

$$E \cdot \frac{\delta}{\epsilon \cdot \eta_v} = E \cdot \frac{\delta}{\eta_1}$$

hvor

$$\eta_1 = \epsilon \cdot \eta_v$$

Betegner  $\eta_2$  den samlede virkningsgrad ved konverteringen af elektrisk energi til nyttig termisk energi i boligen, kan elforbruget til den supplerende direkte elvarme beregnes som

$$E \cdot \frac{(1-\delta)}{\eta_2}$$

Det samlede årlige elforbrug til boligopvarmning med dette kombinerede varmesystem er altså

$$E \cdot \left( \frac{\delta}{\eta_1} + \frac{1-\delta}{\eta_2} \right)$$

og nuværdien af brændselsudgifterne over en N-årig periode er

$$B=E \cdot \left( \frac{\delta}{\eta_1} + \frac{(1-\delta)}{\eta_2} \right) \sum_{i=1}^N \frac{C_1(i)}{(1+r)^i} .$$

#### 4.2.1. Anlægsdele

Et varmeanlæg kan bestå af flere anlægsdele, som her skelnes med subskripter 1, 2, ..., m. Disse anlægsdele udnytter eventuelt forskellige brændsler og bidrager til nettovarmebehovet med brøkdelen  $\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_m$ . Da boligens nettovarmebehov netop skal dækkes, adderer dækningsgraderne til 1, altså

$$\delta_1 + \delta_2 + \dots + \delta_m = 1$$

Beregnes delsystemernes effektiviteter med  $\eta_1, \eta_2, \dots, \eta_m$  vil nuværdien af brændselsudgifterne for et kombineret varmeanlæg generelt kunne skrives som

$$B=E \cdot \left( \frac{\delta_1}{\eta_1} \sum_{i=1}^N \frac{C_1(i)}{(1+r)^i} + \frac{\delta_2}{\eta_2} \sum_{i=1}^N \frac{C_2(i)}{(1+r)^i} + \dots + \frac{\delta_m}{\eta_m} \sum_{i=1}^N \frac{C_m(i)}{(1+r)^i} \right) ,$$

hvor  $c_1(i), c_2(i), \dots, c_m(i)$  angiver enhedspriser på brændsler år  $t=i$  til anlægsdelene med subskripter 1, 2, ..., m.

Dækningsgrader  $\delta$  og effektiviteter  $\eta$  kan ligesom renten  $r$  opgives med sandsynlighedsfordelinger.

Foretages den økonomiske beregning for anlæg med kun en anlægsdel, vil dækningsgraden naturligvis være  $\delta_1=1$  med sandsynligheden  $P(\delta_1=1)=1$ . Anlæg med to anlægsdele, hvor brændselsudgifter over beregningsperioden skrives som

$$B=E \cdot \left( \frac{\delta_1}{\eta_1} \sum_{i=1}^N \frac{C_1(i)}{(1+r)^i} + \frac{\delta_2}{\eta_2} \sum_{i=1}^N \frac{C_2(i)}{(1+r)^i} \right) ,$$

er underkastet båndet  $\delta_1 + \delta_2 = 1$ . Antages en værdi  $\delta_1$  for dækningsgraden hørende til primærdelen af anlæget, er sekundærdelens dækningsgrad fastlagt som  $\delta_2 = 1 - \delta_1$ .

I situationen med to anlægsdele behøves derfor kun dækningsgradfordelingen  $P(\delta_1)$  for primæranlægget, samt fordelinger for virkningsgraderne

$$P(\eta_1) \text{ og } P(\eta_2) .$$

Ønsker brugeren den økonomiske vurdering udført for varmeanlæg bestående af flere anlægsdele, tilbyder denne programpakke en inddatamulighed, som forenkler en konsistent datagivning for anlægsdelens dækningsgrader. Det følgende beskriver denne mulighed.

I tilfælde, hvor varmeanlægget beregningsmæssigt opsplittes i (m) anlægsdele, tillader programmet alle dækningsgrader og effektiviteter opgivet med sandsynlighedsfordeling.

Sandsynlighedsfordelingerne for dækningsgraderne  $P(\delta_1), P(\delta_2), \dots, P(\delta_m)$  skal i denne situation opfattes som fordelinger for de potentielle dækningsgrader fra delsystemerne. Sandsynlighedsfordelingerne udtrykker den opnåelige dækningsgrad fra den pågældende systemdel, og altså ikke nødvendigvis det bidrag, denne delkomponent yder til nettoenergibehovet.

Når fordelingen for den samlede brændselsudgift B bestemmes, udregnes brændselsudgifter i princippet for alle parameterkombinationer i inddatafordelingerne, men en justering af de potentielle dækningsgradfordelinger er nødvendig.

I en parameterkombination (k) indgår f.eks. følgende parameter-værdier for delsystemernes dækningsgrader

$$\delta_1(k), \delta_2(k), \dots, \delta_m(k) \quad .$$

En konsistent datakombination kræver, at summen af disse dækningsgrader skal være 1,

$$\delta_1(k) + \delta_2(k) + \dots + \delta_m(k) = 1$$

Dette forudsættes derfor, at alle kombinationer af dækningsgrader skal addere til mindst en, hvilket sikrer, at nettoenergibehovet altid vil kunne dækkes.

Summen af dækningsgraderne i en given inddatakombination vil altså typisk være større end 1. Brugeren må derfor vælge, hvilke anlægsdele der kun skal udnyttes delvis.

Det kunne her være naturligt at minimere brændselsudgiften ved at reducere kapacitetsudnyttelsen i anlægsdele med de højeste brændselspriser.

Modellen kræver, at systemdelene opgives i en af brugeren valgt prioritetsfølge, således at delsystemet med subskript "1" skal have maksimal kapacitetsudnyttelse.

Systemdelen mærket "2" har anden prioritet. Er nettoenergibehovet ikke fuldt dækket via systemdel "1", leverer systemdel "2", om muligt, det resterende behov. Hvis  $\delta_1(k) + \delta_2(k) \leq 1$  suppleres behovet fra delsystem "3", hvor nettoenergiprisen er bestemt af effektiviteten  $\eta_3(k)$  og brændselspriser  $c_3(i)$ . Således fortsætter processen indtil nettoenergibehovet  $E$  er dækket.

Systemdelen bagerst i prioritetsfølgen er altså mærket med den højeste subskriptværdi "m".

Består et varmeanlæg af 3 anlægsdele, kunne en kombination af parametrene fra de 3 stokastisk uafhængige dækningsgradfordelinger f.eks. være

$$\delta_1=0.2 \quad , \quad \delta_2=0.9 \quad , \quad \delta_3=1$$

Er de tilhørende sandsynligheder

$$P(\delta_1)=0.3 \quad , \quad P(\delta_2)=0.2 \quad , \quad P(\delta_3)=1$$

vil sandsynligheden for parameterkombinationen være

$$P(\delta_1, \delta_2, \delta_3) = p(\delta_1) \cdot p(\delta_2) \cdot p(\delta_3) = 0.06$$

Hvad der faktisk udnyttes af anlægsdelenes potentielle dækningsgrader er

$$\delta_1^* = 0.2 \quad , \quad \delta_2^* = 0.8 \quad , \quad \delta_3^* = 0.$$

så

$$\delta_1^* + \delta_2^* + \delta_3^* = 1$$

Denne justerende kombination af dækningsgrader optræder i programmet med sandsynligheden  $p(\delta_1, \delta_2, \delta_3)=0.06$ .

Samtlige mulige kombinationer af dækningsgrader fra inddatafordelingerne tilpasses på denne måde, før en brændselspris beregnes og tildeles sandsynlighed.

For at give brugeren overblik over anlægsdelens bidrag til nettoenergibehovet og brændselsforbruget af de mulige kilder, opsamler programmet de koblede fordelinger for justerede dækningsgrader

$$P(\delta_1^*), P(\delta_2^*), \dots, P(\delta_m^*)$$

Disse fordelinger er ikke uafhængige. Læst enkeltvis udtrykker de dækningsgradsfordelingen for et delsystem i det samlede varmeanlæg, når udnyttelsesstrategien for anlægsdelene følger brugerens prioritetsfølge.

Ses fordelingerne under ét, skal det erindres, at hver kombination af dækningsgrader skal addere til 1.

Summen af fordelingernes middelværdier er 1, altså

$$\delta_1^* + \delta_2^* + \dots + \delta_m^* = 1$$

De oprindelige inddatafordelinger  $p(\delta_1), p(\delta_2), \dots, p(\delta_m)$  er stokastisk uafhængige, hvorfor dækningsgradspotentialet i en anlægsdel er uafhængig af, hvilke dækningsbidrag de øvrige anlægsdele yder.

Fordelinger for nuværdien af brændselsudgifter, hørende til varmesystemets enkeltdele, opsamles på tilsvarende måde af programmet.

#### 4.2.2. Resumé af brændselsudgiftsberegningen

Programmets øjeblikkelige udformning kræver, at det tekniske beskrivelsesniveau for opvarmningsanlæg er begrænset til en specifikation af dækningsgrader og effektiviteter for anlægsdelene samt de tilhørende brændselstyper.

Fordelingsvariable antages stokastisk uafhængige, og eventuelle korrelationer i det tekniske samspil anlægsdelene imellem, eller det samlede anlægs kapacitetsforhold, er ikke søgt inddraget i denne programpakke.

Brugeren må derfor afgrænse inddata, og definere typen af det varmeanlæg, der ønskes behandlet, så betingelsen om stokastisk uafhængighed blandt fordelingsvariable er opfyldt.

Programmet beregner fordelingen for brændselsudgiftsdelen gennem relationen

$$B=E \cdot \left( \frac{\delta_1}{\eta_1} \cdot \sum_{i=1}^N \frac{C_1(i)}{(1+r)^i} + \dots + \frac{\delta_m}{\eta_m} \cdot \sum_{i=1}^N \frac{C_m(i)}{(1+r)^i} \right),$$

hvor  $\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_m$  og  $\eta_1, \eta_2, \dots, \eta_m$ , hørende til den prioriterede følge af anlægsdele, eventuelt angives med fordeling.

## 5. OVERSIGT OVER PROGRAMMODULER

Programpakkens opbygning er vist på figur 11).

Datagrundlaget for den økonomiske vurdering indlæses interaktivt gennem programmodulet (a1).

Programmodul (a2) er en hjælpefacilitet ved udarbejdelsen af brændselsprisprognoser. Modulet indeholder nogle simple beregningsstrukturer, som omsætter cif-priser på et udvalg af primær brændsler til cif-priser på tilhørende sekundære brændselsprodukter. Gennem en afgiftsstruktur afledes forbrugerpriser for disse.

Priser på olieprodukter udledes fra en råoliepris via en simpel model for produktkonverteringen på raffinaderier. Prisforhold produkterne imellem beskrives gennem midlede størrelser for produktudbytter, prisandele og specifikke konverteringsomkostninger.

En simpel beregningsnøgle afleder elektricitetspriser fra priser på f.eks. kul og svær olie under anvendelse af midlede størrelser for effektiviteter og specifikke omkostninger for konvertering og transmission samt en afgiftsstruktur.

Formålet med denne programdel er at lette en konsistent fastsættelse af prognoser for brændselspriser til beregninger på privatøkonomisk og/eller samfundsøkonomisk grundlag.

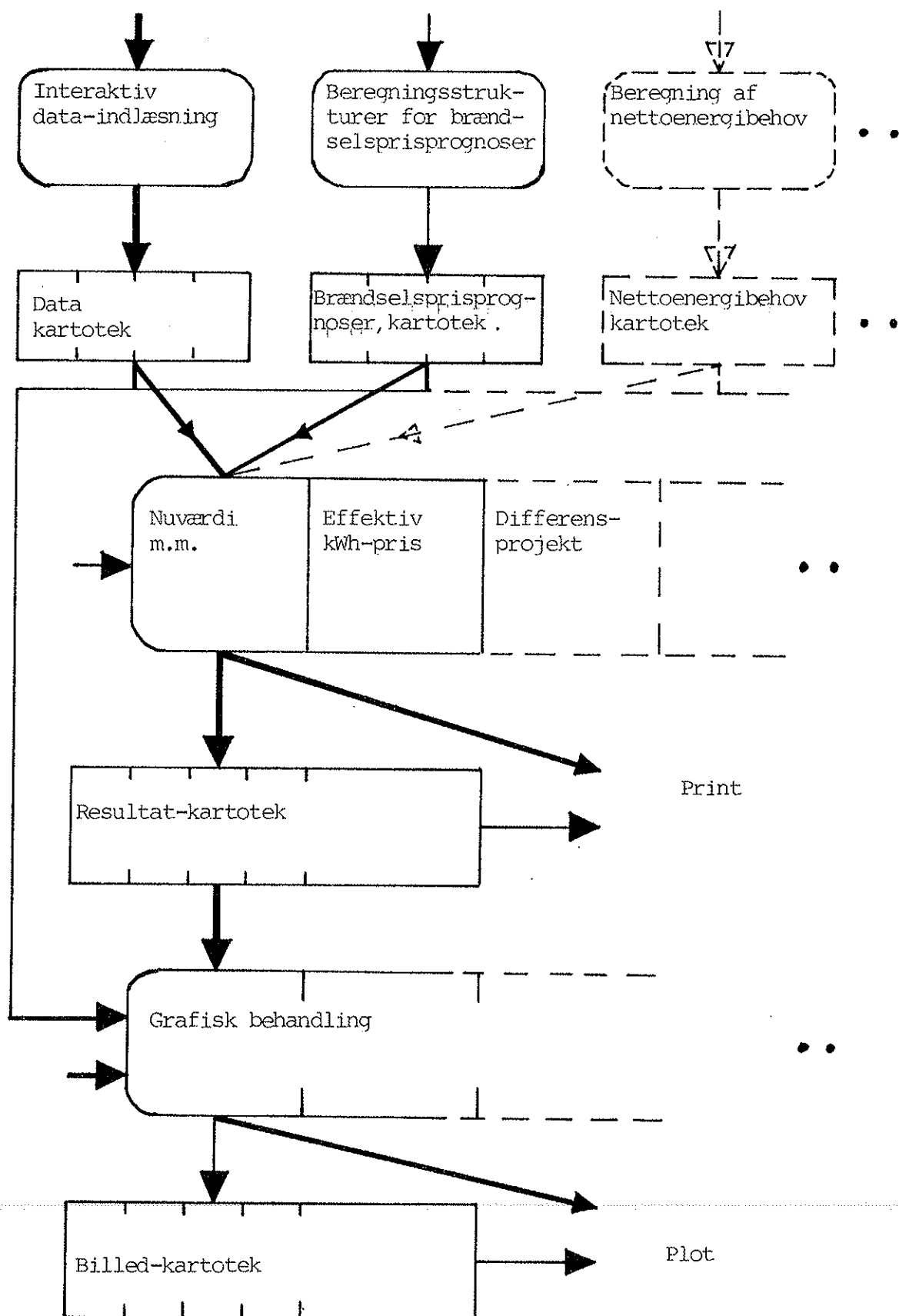
Det er naturligvis muligt at udvide det tekniske beskrivelsesniveau i modellen ved at tilknytte programmoduler med beregningsstrukturer, som opbygger inddatafordelingerne.

Nettoenergibehovet i bygningen E er i denne programversion fastlast uden fordeling. Det er hensigten siden hen at lade nettoenergibehovet repræsentere med fordeling og tilkoble et programmodul (a3), som afleder denne fordeling via en model for bygningens konstruktion og anvendelse. Dette giver bl.a. mulighed for, mere direkte end tilfældet er nu, at lade investeringer i bygningers isoleringstilstand indgå naturligt i den energi-økonomiske vurdering.

Programpakkens centrale beregningsdel er symboliseret med kassen (c) på figur 11). Dette modul beregner sandsynlighedsfordelinger m.m. og modtager data fra kartotekerne (b). Beregningsresultater lagres i (d), og en del størrelser udskrives.

I programmodulet (e) foretages den videre grafiske behandling til præsentationsark for de økonomiske vurderinger. Figur 1) er et eksempel på billeder fra dette modul. Billeder på digital form lagres i kartoteket (f).

De kraftigt optrukne pile angiver informationsstrømmen ved en normal anvendelse af programpakken.



Figur 11.



REFERENCER

- Ditlevsen O.: "UNCERTAINTY MODELLING with applications to multidimensional civil engineering systems", McGraw-Hill, New York, 1981
- Hald A.: "STATISTICAL THEORY WITH ENGINEERING APPLICATIONS", WILEY, New York, 1952.
- Holst Andersen A.: "Forelæsningsnoter i statistik 1". Århus Universitet, 1980.
- Love P.E.: "A STOCHASTIC APPROACH TO ENERGY RD&D PLANNING" MIMEO DG12, Commission of the European Community, May 1980.
- Rasmussen J.,  
Scherfig K.: "Driftsøkonomi", Københavns Universitet, 1972.
- Statens Byggeforsk- "SBI-anvisning om LØNSOMHEDSBEREGNINGER AF  
ningsinstitut: ENERGIBESPARENDE FORANSTALTNINGER".
- Statens  
Industriverk: "SIND" FÖRSÖRJNINGSTRYGGHETEN FÖR OLJA, KOL  
och URAN en metodstudie" 1982:8.

<p>Title and author(s)</p> <p>Model for treating uncertainties in economic assessments of energy technologies</p> <p>Lars Henrik Nielsen</p>	<p>Date</p> <p>April 1983</p>
	<p>Department or group</p> <p>Energy Systems Group</p>
	<p>Group's own registration number(s)</p>
<p>48 pages + tables + illustrations</p>	
<p>Abstract</p> <p>The report describes a model which integrates uncertainties into the economic assessment of energy technologies (e.g. heat pump heating systems). Most data to the model can be stated as probability distributions, and the model calculates the resulting probability distribution of the economic quantity being considered. This information is supplemented by a sensitivity analysis which indicates the effect on the total uncertainties, originating from the individual data distributions. Data to the model and results from the model are presented graphically. The present version of the model calculates the present value of the total expenditure related to the use of an energy technology over a given period of time. It is intended to extend the model to calculate an effective energy price, present value of difference projects and internal rate of return on the investment.</p> <p>Available on request from Risø Library, Risø National Laboratory (Risø Bibliotek), Forsøgsanlæg Risø), DK-4000 Roskilde, Denmark Telephone: (02) 37 12 12, ext. 2262. Telex: 43116</p>	<p>Copies to</p>